

Для цитирования: Гусейнов Р.В. Динамометрическая аппаратура для измерения составляющих сил резания при обработке осевым инструментом. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018; 45 (1):22-29. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-1-22-29

For citation: Guseinov R. V. Dynamometric equipment for measuring the components of cutting strengths when processing materials with axial tools. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (1):22-29. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-1-22-29

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ МЕХАНИКА

УДК 67.05

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-1-22-29

ДИНАМОМЕТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОСЕВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Гусейнов Р.В.

Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,
e-mail:ragus05@mail.ru

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка динамометрической аппаратуры для измерения составляющих сил резания при обработке осевым инструментом в динамическом режиме. **Метод.** Исследование основано на применении электрических методов с использованием пьезоэлектрических и тензометрических преобразователей, главным преимуществом которых является возможность регистрации и записи быстропротекающих динамических процессов. **Результат.** На основе анализа существующих динамометров обоснована необходимость разработки нового современного динамометрического устройства, позволяющего регистрировать и записывать колебания составляющих сил резания в динамическом режиме. Указано на преимущество использования тензометрических датчиков для динамометра. Анализ используемых конструкций динамометров показал, что датчики для измерения осевых сил и крутящего момента располагались на одном упругом элементе, что отражается на точности их измерения из-за их взаимовлияния. Поэтому потребовалось располагать их на различных упругих элементах. Представлена разработанная и изготовленная динамометрическая аппаратура для проведения исследовательских работ в области технологии обработки осевым инструментом. Рассчитана относительная погрешность измерений. **Вывод.** Динамометрическая аппаратура позволяет регистрировать без искажения периодические и квазипериодические колебания двух составляющих сил резания для различных процессов нарезания резьб метчиками, сверления и зенкерования, происходящие с частотой до 1500 Гц в режиме реального времени, и может быть использована для оптимизации параметров резания. С помощью динамометрической аппаратуры возможна регистрация сигналов с датчиков силы в количестве до 8 в режиме реального времени, усиление сигналов, трансформация сигнала с аналогового в цифровой; визуализация данных; процедура вывода на печать результатов экспериментальных данных. Аппаратура может быть использована в научно-исследовательских лабораториях машиностроительных предприятий, вузов и других научных учреждениях.

Ключевые слова: датчики измерения сил резания; динамометры; обработка отверстий; динамика резания; относительная погрешность динамометра; экспериментальное измерение силы резания

PHYSICAL-MATEMATICAL SCIENCE MECHANICS

DYNAMOMETRIC EQUIPMENT FOR MEASURING THE COMPONENTS OF CUTTING STRENGTHS WHEN PROCESSING MATERIALS WITH AXIAL TOOLS

Rasul V. Guseynov

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,
e-mail: ragus05@mail.ru

Abstract Objectives. The purpose of the study is to develop dynamometric equipment for measuring the components of cutting forces when processing materials with an axial tool in a dynamic mode. **Methods.** The study is based on the application of electrical methods using piezoelectric and strain gauge transducers, whose main advantage is the ability to register and record fast-moving dynamic processes. **Results.** Based on an analysis of existing dynamometers, the necessity of developing a new modern dynamometer device, which would allow the oscillations of the cutting force components to be registered and recorded in dynamic mode, is justified. The advantages of using strain sensors for a dynamometer are described. An analysis of the selected dynamometer design indicated that the sensors for measuring the axial forces and torque are located on one elastic element, which affects the accuracy of their measurement due to their mutual influence. Therefore, it was necessary to place them on different elastic elements. The developed and manufactured dynamometric equipment for carrying out the research work in the field of axial tools for processing materials is presented. The relative measurement error is calculated. **Conclusion.** The dynamometric equipment makes it possible to record the periodic and quasiperiodic oscillations of two components of the cutting forces without distortion for various tapping, drilling and countersinking processes, occurring at a frequency of up to 1500 Hz in real time mode, and can be used to optimise the cutting parameters. Using the dynamometric equipment, it is possible to register the signals from up to 8 force sensors in real time, amplify signals, transform the signal from analogue to digital, visualise data and print out the results of experimental data. The equipment is suitable for use in research laboratories of machine-building enterprises, universities and other scientific institutions.

Keywords: measuring sensors for cutting forces, dynamometers, processing of holes, cutting dynamics, relative dynamometer error, experimental measurement of cutting force

Введение. Для измерения составляющих сил резания требуется специальная малоинерционная высокочувствительная аппаратура. Как правило, к ней предъявляются высокие требования по компактности, точности определения сил резания, возможности определения сил, как в динамических, так и статических режимах, к высокой устойчивости к помехам, к воздействию смазочно-охлаждающих жидкостей, к возможности подключения к персональным ЭВМ, к высокой собственной частотой колебаний и др.

Известны динамометры ДТУ, УДМ [1]. Анализ динамометров ДТУ показал, что предельная частота гармоник измеряемых периодических колебаний трех составляющих сил резания, регистрируемых без искажения системой прибора, ограничивается 300... 400 Гц. Динамометры УДМ-600,1500 имеют частоту собственных колебаний механической части соответственно 1350 и 1180 Гц, однако они не отвечают современным требованиям к измерительным динамометрическим системам. Они не имеют электронно-цифровую шкалу показаний.

Хорошие результаты показывают динамометры Дуна-Z [2], динамометры трехкомпонентные М30-3-6к [3]. Однако они предназначены для количественной оценки составляющих сил резания при токарной и фрезерной обработке.

Существуют зарубежные динамометрические системы, например, четырехкомпонент-

ные модели 9272 известного поставщика измерительной техники фирмы Kistler (Швейцария) [4], позволяющие производить измерения крутящего момента и трех составляющих сил резания. Однако они обладают высокой стоимостью (порядка пяти миллионов рублей).

При исследовании таких процессов резания как обработка отверстий, частота автоколебаний парциальных систем общей замкнутой упругой системы СПИД изменяется обычно от 1200–1400 Гц и выше [5]. Силы резания во время вибраций могут менять свое направление.

Для повышения точности измерения динамических сил резания необходимо, чтобы частота собственных колебаний упругой механической системы динамометра превышала частоту регистрируемых колебаний не менее чем в 2–4 раза. Измеряемые перемещения упругой части динамометра относительно преобразователей перемещений при максимальных расчетных нагрузках должны быть не более 10–12 мкм [6].

Поэтому потребовалось создание недорогих динамометров, позволяющих измерять составляющие сил резания при обработке отверстий в динамическом режиме с высокой точностью.

Постановка задачи. Целью работы является разработка динамометрической аппаратуры для измерения составляющих сил резания при обработке осевым инструментом в динамическом режиме.

Методы исследования. Известны несколько методов измерения составляющих сил резания. Наибольшее применение нашли электрические методы с использованием пьезоэлектрических и тензометрических преобразователей. Главным преимуществом электрических преобразователей является возможность регистрации и записи быстропротекающих динамических процессов с использованием осциллографа и компьютера.

Пьезодатчики высокочувствительны, характеризуются линейностью передаточной характеристики в широком диапазоне частот, однако их основным недостатком является невозможность их использования для измерения сил резания в длительный период из-за потери заряда пьезокварца после приложения нагрузки, хотя они используются в динамометрических системах, например в динамометрах Dyna-Z, где используются кварцевые резонансные датчики ЭПКВ-10М [7], в динамометрах фирмы Kistler.

В большинстве конструкций динамометров в основном используются тензодатчики [8–13], которые позволяют регистрировать значения сил, как в статическом режиме, так и в динамическом. Частотный диапазон тензометрических динамометров ограничен собственной частотой колебания конструкции [14].

Анализ используемых конструкций динамометров показал, что датчики для измерения осевых сил и крутящего момента располагались на одном упругом элементе, что отражается на точности их измерения из-за их взаимовлияния. Поэтому потребовалось располагать их на различных упругих элементах.

На рис. 1 показана схема динамометрической системы для измерения составляющих сил резания при обработке осевым инструментом.

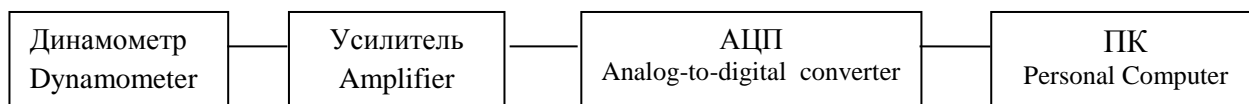


Рис.1. Схема динамометрической системы для измерения составляющих сил резания при обработке осевым инструментом

Fig.1. Scheme of a dynamometer system for measuring the components of cutting forces when machining with an axial tool

В качестве измерительных преобразователей используются тензодатчики. В этом случае выходное напряжение динамометра достаточно мало (не превышает 10^{-2} мВ).

Для его усиления нами использован восьмиканальный дифференциальный усилитель МДУ-8, в составе которого предусмотрен источник питания тензомостов. Входные цепи усили-

теля имеют защиту, рассчитанную на напряжение до 100 В, и высокочастотный фильтр для защиты от помех. Это обеспечивает широкую полосу пропускания (по уровню - 3 дБ) в пределах 9 кГц, что значительно превышает частоту регистрируемых механических колебаний. Каждый канал управляется независимо от других и имеет до трех оперативно переключаемых коэффициентов усиления 1,10,100.

Отличительной особенностью данного усилителя является высокая нагрузочная способность выходов, что позволяет использовать кабель повышенной длины вплоть до 300 м. Питание устройства МДУ-8 осуществляется от внешнего источника постоянного напряжения в диапазоне 10...27 В.

Для преобразования аналогового сигнала с выхода усилителя в цифровую форму, удобную для последующей обработки в персональном компьютере (ПК), использован аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) ЛА-2-USB.

Внешний вид АЦП показан на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид АЦП ЛА-2-USB
Fig. 2. Appearance of the ADC LA-2-USB

Обмен данными аналогово-цифрового преобразования между ПК и устройством осуществляется через интерфейс USB.

Персональный компьютер при помощи специальной программы, входящей в состав поставки, осуществляет обработку поступающих от устройства данных аналого-цифрового преобразования и управления устройством через USB интерфейс.

Таким образом, динамометрическая система включает в себя три звена: динамометра, усилителя и АЦП.

Обсуждение результатов. Относительная погрешность преобразования цепи складывается из относительных погрешностей составляющих звеньев: динамометра δ_d , усилителя δ_y и АЦП $\delta_{АЦП}$

$$\delta_c = \delta_d + \delta_y + \delta_{АЦП}. \quad (1)$$

Пределы относительной погрешности усилителя и АЦП заявлены в руководстве по эксплуатации и равны [15-16]

$$\delta_y = \pm 1,5\%; \delta_{АЦП} = \pm 0,2\% \quad (2)$$

Подставляя δ_y и $\delta_{АЦП}$ из формулы (2) в (1) получим

$$\delta_c = \delta_d \pm 1,5\% \pm 0,2\%. \quad (3)$$

Из (3) видно, что предельные погрешности динамометрической системы не должны превышать 3-5%, нам необходимо разработать динамометр с относительной погрешностью не более 2%.

Механическая часть разработанного двухкомпонентного динамометра показана на рис. 3.

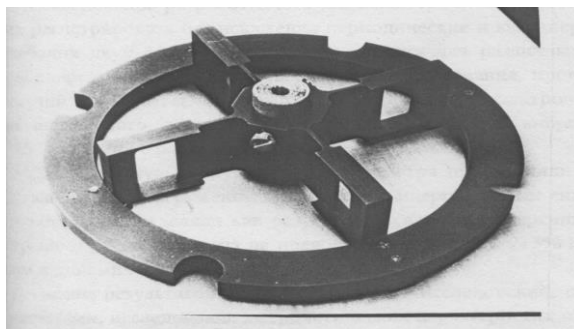


Рис. 3. Механическая часть динамометра
Fig. 3. Mechanical part of dynamometer

Для того чтобы избежать деформаций в стыках, механическая часть изготовлена из одного цельного куска металла. В качестве материала для механической части выбрана сталь 30ХГСА в термообработанном состоянии, имеющая следующие механические показатели: $\sigma_b = 1080$ МПа, $\delta = 10\%$, НВ 313. Эта сталь имеет наименьшее расхождение значений статического и динамического модулей упругости и почти не имеет гистерезисной петли в зоне упругих деформаций [17].

Упругие вертикальные измерительные элементы динамометра представляют собой рамы для измерения крутящего момента и горизонтальные – для измерения осевой силы. Взаимное влияние составляющих сил резания при таком конструктивном решении не превышает 5-6%.

Для увеличения частоты собственных колебаний упругой двигающейся части динамометра упругие элементы выполнены достаточно жесткими, а масса столика предельно уменьшена и закрепляется на столе станка четырьмя болтами. С этой целью обрабатываемый образец в форме втулки с минимально возможным размером крепят непосредственно к столику. Корпус динамометрического столика весьма жесткий, поэтому он не деформируется при работе.

Частота свободных колебаний столика по направлениям действия осевых сил и крутящего момента $f = 3600$ Гц подсчитана по формуле

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}}, \quad (4)$$

где c – жесткость в данном направлении подвижной части динамометра;

m – приведенная масса перемещающейся в этом же направлении части динамометра вместе с закрепленным образцом, и проверенная экспериментальным путем.

Датчики динамометра состоят из тензорезисторов ПКБ-2-200-Ш ТУ- 01-17-66, которые подключены по схеме полумоста и защищены от механических повреждений.

Для уменьшения гистерезиса, смонтированные на металле тензорезисторы подвергают на 10–15 мин воздействию электромагнитных колебаний от автогенератора УВЧ-4. Это позволяет уменьшить гистерезис в 2,8 раз без изменения чувствительности [18].

При наибольших расчетных значениях сил перемещения упругих частей динамометра, не должны превышать значений $\omega = 8-10$ мкм, что достигается выбором толщины упругого элемента h .

Толщина упругого элемента h определена по величине ω прогиба упругого элемента 2, на котором монтируются тензодатчики для измерения осевых сил, с использованием известной из теории упругости формулы

$$h = \sqrt[3]{\frac{E\omega}{K P_{oc} l^2}}, \quad (5)$$

где P_{oc} – осевая составляющая силы резания;
 l – половина длины упругого элемента;
 E – модуль упругости материала 30ХГСА;
 H – толщина элемента;
 K – коэффициент пропорциональности.
Коэффициент K определяется по формуле

$$K = \frac{3(1-\mu^2)}{\pi} \left[\frac{b^2-1}{4b^2} - \frac{\ln^2 b}{b^2-1} \right], \quad (6)$$

где μ – коэффициент Пуассона, равен 0,3.
Величина b равна

$$b = \frac{2l}{a}; \quad (7)$$

где a – длина контактной нагрузки, которая в соответствии с теорией упругости определяется по формуле Герца

$$a = 1,109 \sqrt[3]{\frac{P_{oc}A}{E}} \quad (8)$$

Выбранная электрическая схема обеспечивает высокую чувствительность и стабильность показаний прибора.

Градуировочные графики динамометра весьма близки к прямым линиям.

Исследование разработанного динамометра показало, что он позволяет регистрировать без искажения периодические и квазипериодические колебания двух составляющих силы резания для различных процессов резбонарезания метчиками, сверления и зенкерования, происходящие с частотой до 1500 Гц.

Динамическую градуировку динамометра производили по методу, основанному на нагружении динамометра инерционными силами, значения которых определяли как результат косвенных измерений. При этом погрешности динамометра не превосходят величин $\pm 2-3\%$ и при статическом, и динамическом нагружении.

Анализ результатов экспериментальных исследований, сравнение их с расчетами, исследование метрологических характеристик приборов показали, что разработанная динамометрическая аппаратура позволяет с достаточной точностью исследовать силовые характеристики при обработке осевым инструментом.

Вывод:

1. Разработанная динамометрическая аппаратура предназначена для выполнения экспериментальных научно-исследовательских работ в области обработки отверстий;

2. Разработанная аппаратура содержит современную электронную аппаратуру, с использованием которой возможна регистрация сигналов с датчиков силы в количестве до 8 в режиме реального времени, усиление сигналов, трансформация сигнала с аналогового в цифровой, визуализация данных, процедура вывода на печать результатов экспериментальных данных;

3. Динамометрическая аппаратура может быть использована для оптимизации параметров резания;

4. Предложенная аппаратура может быть использована в лабораториях вузов для инструментальной поддержки учебных циклов (например, циклов «Основы формообразования и режущий инструмент», «Технология машиностроения», «Основы научных исследований», «Планирование экспериментов»), в научно-исследовательских лабораториях машиностроительных предприятий с целью выбора оптимальных параметров резания при обработке конкретных материалов.

Также целесообразно использовать динамометрическую аппаратуру для проведения научных исследований магистрантов и аспирантов.

Библиографический список:

1. Древал А.Е. Устройства диагностирования состояния режущего инструмента по динамическим показателям [Текст] / А.Е. Древал, С.В. Андрушко, Н.И. Федотов // Диагностика технологических процессов: матер. семинара. М.: Знание, 1990. С. 69-74.
2. Безъязычный В.Ф. Разработка динамометрической системы для измерения силы резания при точении [Текст] / В.Ф. Безъязычный, А.В. Кордюков, М.В. Тимофеев, Р.Н. Фоменко // Известия МГТУ «МАМИ» № 1(19), 2014, т. 2. С.171-176.
3. Tilcom: сайт компании. Режим доступа : (<http://www.tilkom.com>). Дата обращения 04.03.2018.
4. Kistler: сайт компании. Режим доступа : (<http://www.kistler.com>). Дата обращения 04.03.2018.
5. Гусейнов Р.В. Интенсификация технологических процессов обработки труднообрабатываемых материалов путем управления динамическими параметрами системы: Автореф. дис. докт. техн. наук: 05.02.08; 05.03.01/ Гусейнов Расул Вагидович; Санкт-Петербургский государственный морской технический университет. – СПб., 1998.
6. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. Л.: Машиностроение, 1985.
7. Пьезоэлемент силочувствительный ЭПКВ-10М // <http://qsens.ru/products/epkv/54-epkv-10m.html>.
8. Гусейнов Р.В. Универсальное устройство для измерения быстроменяющихся сил резания и амплитуд вибраций [Текст] / Р.В. Гусейнов // Вестник машиностроения. 1993. №9. С. 24.
9. Мальков О.В. Экспериментальное определение модели силы при резьбофрезеровании [Текст] / О.В. Мальков, И.М. Головки // Международная молодежная конференция «Инновации в машиностроении»: сб. трудов. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. С. 73-77.
10. Гусейнов Р.В. Математическое моделирование процесса резания коррозионно-стойких сталей [Текст] / Р.В. Гусейнов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2015. №4. С.65-70.
11. Анісімов В. В. Перспективні напрямки досліджень в області вимірювання зусилля різання при точенні [Текст] / В.В. Анісімов, В.М. Анісімов, О.Л. Чуприна // Технічні науки та технології . №1(3). С.37-43. Чернігов. 2016.
12. Гусейнов Р.В. Исследование влияния геометрических параметров инструмента на силы резания при обработке внутренних поверхностей методом планирования экспериментов [Текст] / Р.В. Гусейнов, М.Р. Рустамова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2011. № 21. С.83-87.
13. Филиппов А.В. Повышение точности обработки нежестких валов путем оптимизации параметров брешющего точения: Дис. канд. техн. наук: 05.02.07/ Филиппов Андрей Владимирович; Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета. – Юрга., 2015.-194 С.
14. Сабиров Ф.С. Трехкомпонентные датчики вибраций для диагностики станков // Приборы. 2012, № 6, с. 10-22.
15. Руководство по эксплуатации ВКФУ411.539.008РЭ. Режим доступа: (<http://www.rudshel.ru>). Дата обращения 04.03.2018.
16. Руководство по эксплуатации ВКФУ411.619.044РЭ. Режим доступа: (<http://www.rudshel.ru>). Дата обращения 04.03.2018.
17. Мокеев И.И. Статические и динамические значения модуля упругости стали 30ХГСА [Текст] / И.И. Мокеев // Известия вузов. Машиностроение. №2.1959. С.107-113.
18. Хагунцев Э.А. Характеристика тензорезисторных связующих [Текст] / Э.А. Хагунцев // Измерительная техника. №10.1988. С.35-37.
19. Petersburg; 1998. (In Russ.)
20. Zharkov I.G. Vibratsii pri obrabotke lezviinym instrumentom. L.: Mashinostroenie; 1985. [Zharkov I.G. Vibrations during processing with a blade tool. L.: Mashinostroenie; 1985. (In Russ.)]
21. P'ezoelement silochuvstvitel'nyi EPKV-10M // <http://qsens.ru/products/epkv/54-epkv-10m.html>. [EPKV-10M power sensitive piezoelement // <http://qsens.ru/products/epkv/54-epkv-10m.html>. (In Russ.)]
22. Guseinov R.V. Universal'noe ustroistvo dlya izmereniya bystromenyayushchikhsya sil rezaniya i amplitud vibratsii. Vestnik mashinostroeniya. 1993;9:24. [Guseinov R.V. Universal device for measuring rapidly changing cutting forces and vibration amplitudes. Russian Engineering Research. 1993;9:24. (In Russ.)]
23. Mal'kov O.V., Golovko I.M. Eksperimental'noe opredelenie modeli sily pri rez'bofrezzerovanii. Sbornik trudov Mezhdunarodnoi molodezhnoi konferentsii "Innovatsii v mashinostroenii". Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta; 2012:73-77. [Mal'kov O.V., Golovko I.M. Experimental determination of the force model for thread milling. Proceedings of the International Youth Conference "Innovations in Mechanical Engineering". Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta; 2012:73-77. (In Russ.)]
24. Guseinov R.V. Matematicheskoe modelirovanie protsessa rezaniya korrozionno-stoikikh stalei. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2015;4:65-70. [Guseinov R.V. Mathematical modeling of cutting process of corrosion-resistant steels. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: marine engineering and technologies. 2015;4:65-70. (In Russ.)]

References:

1. Dreval' A.E., Andrushko S.V., Fedotov N.I. Ustroistva diagnostirovaniya sostoyaniya rezhushchego instrumenta po dinamicheskim pokazatelyam. Materialy seminar "Diagnosticska tekhnologicheskikh protsessov". M.: Znanie; 1990. S. 69-74. [Dreval' A.E., Andrushko S.V., Fedotov N.I. Devices diagnosing the state of the cutting tool by dynamic indicators. Materials of the seminar "Diagnostics of technological processes". M.: Znanie; 1990. P. 69-74. (In Russ.)]
2. Bez'yazychnyi V.F., Kordiyukov A.V., Timofeev M.V., Fomenko R.N. Razrabotka dinamometricheskoi sistemy dlya izmereniya sily rezaniya pri tochenii. Izvestiya MGTU "MA-MI". 2014;1(19):171-176. [Bez'yazychnyi V.F., Kordiyukov A.V., Timofeev M.V., Fomenko R.N. Development of a dynamometric system for measuring cutting force during turning. Izvestiya MGTU MAMI. 2014;1(19):171-176. (In Russ.)]
3. Tilcom: sait kompanii. Rezhim dostupa: (<http://www.tilkom.com>). Data obrashcheniya 04.03.2018. [Tilcom: website. Available at: (<http://www.tilkom.com>). Access date 04.03.2018. (In Russ.)]
4. Kistler: sait kompanii. Rezhim dostupa: (<http://www.kistler.com>). Data obrashcheniya 04.03.2018. [Kistler: website. Available at: (<http://www.kistler.com>). Access date 04.03.2018. (In Russ.)]
5. Guseynov R.V. Intensifikatsiya tekhnologicheskikh protsessov obrabotki trudnoobrabatyvaemykh materialov putem upravleniya dinamicheskimi parametrami sistemy. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni dokt. tekhn. nauk. Sankt-Peterburg; 1998. [Guseynov R.V. Intensification of technological processing of the hardly processed materials by the management of system's dynamic parameters. Published summary of Doctor of Technical Sciences thesis. St.

11. Anisimov V.V., Anisimov V.M., Chuprina O.L. Perspektivnye napravleniya issledovaniy v oblasti izmereniya usiliya rezaniya pri tochenii. *Tekhnichni nauki ta tekhnologii*. 2016;1(3):37-43. [Anisimov V.V., Anisimov V.M., Chuprina O.L. Prospective directions of research in the field of measuring the cutting force during turning. *Technical sciences and technology*. 2016;1(3):37-43. (In Ukrainian)]
12. Guseinov R.V., Rustamova M.R. Issledovanie vliyaniya geometricheskikh parametrov instrumenta na sily rezaniya pri obrabotke vnutrennikh poverkhnosti metodom planirovaniya eksperimentov. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskii nauki*. 2011;21:83-87. [Guseinov R.V., Rustamova M.R. Investigation of the influence of the tool geometric parameters on the cutting forces during the processing of internal surfaces by the method of experiment planning. *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2011;21:83-87. (In Russ.)]
13. Filippov A.V. Povyshenie tochnosti obrabotki nezhestkikh valov putem optimizatsii parametrov breyushchego tocheniya: Dis. kand. tekhn. nauk. Yurginskii tekhnologicheskii institut (filial) Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Yurga; 2015. 194 s. [Filippov A.V. Increase of processing accuracy of non-rigid shafts by optimisation of the parameters of shaving turning. Candidate of technical sciences dissertation. Yurginskii tekhnologicheskii institut (filial) Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Yurga; 2015. 194 p. (In Russ.)]
14. Sabirov F.S. Trekhkomponentnye datchiki vibratsii dlya diagnostiki stankov. *Pribory*. 2012;6:10-22. [Sabirov F.S. Three-component vibration sensors for machine diagnostics. *Instruments*. 2012;6:10-22. (In Russ.)]
15. Rukovodstvo po ekspluatatsii VKFU411.539.008RE. Rezhim dostupa: (<http://www.rudshel.ru>). Data obrashcheniya 04.03.2018. [VKFU411.539.008RE Manual. Available at: (<http://www.rudshel.ru>). Access date 04.03.2018. (In Russ.)]
16. Rukovodstvo po ekspluatatsii VKFU411.619.044RE. Rezhim dostupa: (<http://www.rudshel.ru>). Data obrashcheniya 04.03.2018. [VKFU411.619.044RE. Manual. Available at: (<http://www.rudshel.ru>). Access date 04.03.2018. (In Russ.)]
17. Mokeev I.I. Statische i dinamicheskie znacheniya modulya uprugosti stali 30KhGSA. *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie*. 1959;2:107-113. [Mokeev I.I. Static and dynamic values of the elasticity modulus of 30XГСА steel. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*. 1959;2:107-113. (In Russ.)]
18. Khaguntsev E.A. Kharakteristika tenzorezistornykh svyazuyushchikh. *Izmeritel'naya tekhnika*. 1988;10:35-37. [Khaguntsev E.A. Characteristic of strain gauge binders. *Measurement techniques*. 1988;10:35-37. (In Russ.)]

Сведения об авторе:

Гусейнов Расул Вагидович – доктор технических наук, профессор, кафедра организация и безопасность движения.

Information about the author.

Rasul V. Guseynov - Dr. Sci. (Technical), Prof., Department organization and traffic safety.

Конфликт интересов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 30.12.2017.

Received 30.12.2017.

Принята в печать 08.02.2018.

Accepted for publication 08.02.2018.